

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-242762

(43)Date of publication of application : 16.09.1997

(51)Int.Cl.

F16C 33/58

F16C 33/62

(21)Application number : 08-071544

(71)Applicant : NTN CORP

(22)Date of filing : 01.03.1996

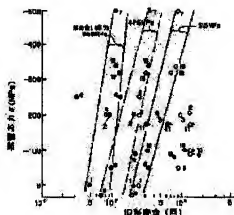
(72)Inventor : MAEDA KIKUO
OKAYAMA TOMOO

(54) ROLLING BEARING

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a rolling bearing having an excellent cracking/peeling life even under a heavy load condition and in a high-speed and high-temperature state by securing a compression residual stress and a certain amount or more of residual austenite corresponding to the compression residual stress in the surface layer part of an inner ring so as to satisfy a specified expression.

SOLUTION: For improving a creaking/peeling life, a residual compression stress and an austenite quantity are kept in a fixed relationship. That is, a residual stress σ and austenite r in the surface layer part of the inner ring of an iron bearing deep by 0.1mm from the surface are set to satisfy an expression of $0.01\sigma \times 0.3r < -4(\text{Mpa}/\%)$. The residual stress σ takes a negative value for its compression stress and for the austenite r , the quantity of an austenite phase remaining untransformed in a structure is expressed in % by volume. The surface layer part 0.1mm deep from the surface of the inner ring is the surface layer part of a surface including a transfer surface formed by performing a specified heat treatment and tempering and then grinding.



特開平9-242762

(43) 公開日 平成9年(1997)9月16日

(51) Int.Cl.⁴F16C 33/58
33/62

識別記号

庁内整理番号

F I

F16C 33/58
33/62

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 7 F D (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平8-71544

(22) 出願日 平成8年(1996)3月1日

(71) 出願人 000102892

エヌティエス株式会社

大阪府大阪市西区京町堀1丁目3番17号

(72) 発明者 前田 喜久男

三重県員弁郡大安町平塚374

(72) 発明者 岡山 智雄

三重県桑名市大字播磨2523-1

(74) 代理人 弁理士 松野 英彦

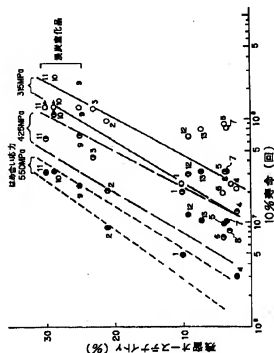
(54) 【発明の名称】 転がり軸受

(57) 【要約】

【課題】 転がり軸受の内輪が軸の嵌め合により高い引張応力の下で使用されるような転がり軸受について、割れ・剥離寿命の向上を目的とする。

【解決手段】 鋼製の内輪を、熱処理又は熱処理後の機械加工により、転走面下0.1mm深さの表層部における残留応力 σ と残留オーステナイト量 γ とが、関係式 $0.01\sigma \times 0.3\gamma < -4$ (MPa・%)

を満足するように調整して転がり軸受とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 外周表面下0.1mm深さの表層部にお

$$\text{関係式} \quad 0.01\sigma \times 0.3y < -4 \quad (\text{MPa} \cdot \%)$$

を満たす鋼製の内輪を含む転がり軸受。

【請求項2】 上記内輪が軸の嵌入による嵌め合い応力の作用した状態で使用される請求項1記載の転がり軸受。

【請求項3】 上記内輪が、浸炭窒化処理により上記関係式を満たす表層部を備えた請求項1記載の転がり軸受。

【請求項4】 上記内輪が、焼入れ後の焼戻しと該焼戻し後の表面機械加工とにより上記関係式を満たす表層部を備えた請求項1記載の転がり軸受。

【請求項5】 上記内輪が軸受鋼により形成され、焼入れ後の焼戻しが焼戻し温度200～300℃での高温焼戻しである請求項4記載の転がり軸受。

【請求項6】 上記内輪が、軸受使用時に転動体による接触応力 P_{max} が2.0GPaを超える転走面域にのみ表面機械加工により上記関係式を満たす表層部を備えた請求項1記載の転がり軸受。

【請求項7】 上記表面機械加工が、冷間ローリング加工である請求項4乃至6何れか記載の転がり軸受。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、内輪に回転軸や固定軸による大きな嵌め合い応力が作用した状態で使用される軸受であって、割れ・剥離寿命を改善した転がり軸受に関する。

【0002】

【従来の技術と解決課題】転がり軸受は、いずれも鋼により形成され、内輪と外輪から成る軌道輪と、内輪及び外輪の転走面の間に介装された多数の転動体と、から成るものであるが、軌道輪の内輪に回転軸等が嵌め込まれて大きな嵌め合い応力の下で大荷重を支持するように使用されると、内輪の嵌め合い応力が引張応力として働き、しかも、使用中には、転走面の表層部に転動体の回転による転がり接触に基づいた繰り返しの圧縮応力を受けることになる。そのため、転走面ないはその直下の表層部は疲労亀裂の起点になり易く、一旦亀裂が発生すると、亀裂は上記引張応力により進展して、内輪の破断につながり易いことは知られていた。

* ける残留応力 σ と残留オーステナイト量 y とが、

※【0003】そこで、従来から、焼戻し鋼・浸炭鋼等の低中炭素鋼を使用して表層部に浸炭処理を施して、熱処理により表層部の残留応力を圧縮性としたり、軸受鋼をベーナイト組織に調製して、表層部に韌性を与えて亀裂の発生を抑える等の熱処理的な解決法が採用されていた。

10 【0004】内輪の嵌め合い応力の大きな軸受として、製紙工程の抄紙機用の軸受や鋼板圧延機のバックアップロール用軸受などの大型の軸受があり、このような用途では、比較的高温で使用されることが多い。このような場合、高温使用時に軸受の寸法が変化するのを防止するため予め焼入れ後の焼戻しを比較的高い温度で行うが、軸受製造工程で熱処理により形成した圧縮残留応力が軸受の焼戻し時に低下してしまい、割れ強度が低下するなど、熱処理による効果が得られることがあった。

20 【0005】本発明は、内輪に軸の嵌入による大きな嵌め合い応力が作用するような転がり軸受であって、大荷重条件や高速高温での使用条件であっても割れ・剥離寿命に優れた転がり軸受を提供しようとするものである。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明は、内輪に軸の嵌め合いによる大きな引張応力が作用するような転がり軸受であって、内輪の表層部に圧縮残留応力と共に、当該圧縮残留応力に対応する一定量以上の残留オーステナイト量とを確保することにより、転動体と転がり接触する表層部で亀裂・剥離の発生・進展を遅延して、剥離寿命を向上させるのである。表層部の残留圧縮応力は、軸の嵌め合いによる引張応力を相殺して全体として圧縮応力として亀裂の発生進展を防止し、しかも、残留オーステナイト量は、亀裂に対する韌性を高めて亀裂の発生・進展を抑制するためである。

30 【0007】そして、亀裂・剥離寿命を高めるには、残留圧縮応力とオーステナイト量とが一定の関係にあることが重要である。即ち、本発明の転がり軸受においては、鋼製の軸受内輪の表面下0.1mm深さの表層部における残留応力 σ と残留オーステナイト量 y とが、次の関係式

$$(\text{MPa} \cdot \%) \quad \dots \dots (1)$$

★成した少なくとも転走面を含む表面の表層部であるが、表面下0.1mm深さの部位を基準にするのは、この部位が、表面の研削加工等の仕上げ加工の影響を受けず、熱処理あるいは機械加工による材質を表しているからである。

【0009】式(1)は、残留応力 σ と残留オーステナイト量 y との積に換算すると、

$$(\text{MPa} \cdot \%) \quad \dots \dots (2)$$

$$-\sigma \times y > 4000 / 3$$

となる。この式(2)で、残留応力 σ と残留オーステナイト量 γ との積 $\sigma \times \gamma$ が4000/3より低下すると、転走面における亀裂の発生ないし進展が抑制し得ず、寿命が低下する。従来如く残留圧縮応力のみを大きくしたのでは、大きな嵌め合い応力条件下での亀裂の発生・進展を抑えきれず、残留オーステナイト量の併存により脆性を確保して亀裂の発生・進展を遅らせるからである。

【0010】残留圧縮応力は、 $\sigma = 100 \sim 500 \text{ MPa}$ の範囲が好ましい。上限を、500 MPaとするのは、残留圧縮応力をこれ以上大きくすることは、通常の熱処理では、芯部の硬度を低くして表層部の硬化深さを浅くする必要があり、他の軸受機能面への悪影響があり、機械加工による方法では材料の疲労を招くからである。

【0011】他方、残留オーステナイト量 γ は、上限を35%までとするのが好ましい。上限を35%とするのは、残留オーステナイトがこれより多くなると、必要な表面硬さが得られず、摩耗に対する抵抗性が低下するからである。

【0012】

【発明の実施の形態】本発明は、上記関係式(1)あるいは式(2)を満たすように残留応力 σ と残留オーステナイト量 γ とを両立して確保することであるが、先ず、残留オーステナイト量 γ を確保するには、鋼により形成した内輪の少なくとも表層部を高炭素含有量として焼入れすることにより得られる。このような方法には、高炭素クロム軸受鋼(例えば、JISに定めるSUJ2鋼、SUJ3鋼など、以下単に、軸受鋼という)を焼入れする方法(ずぶ焼入れ法)があり、また、低中炭素浸炭鋼

(例えば、同じくSCr420~440鋼、SCM420~440鋼、SNCM420、同815鋼など、以下単に、浸炭鋼という)や上記の軸受鋼を、浸炭後に急冷する方法(浸炭法)がある。

【0013】さらに、上記浸炭鋼や軸受鋼を浸炭窒化後に急冷する方法(浸炭窒化法)も好適に利用でき、この方法は、表層部を高炭素で且つ高炭素含有量として急冷することにより、焼戻し後のオーステナイトを安定化させ、その残留オーステナイト量を高めることができる。

【0014】他方、表層部の残留応力 σ を所要の圧縮応力に調整するには、浸炭鋼又は軸受鋼の浸炭法や浸炭窒化法の熱処理方法が利用できる。さらに、上記鋼種をずぶ焼入れ処理、浸炭処理又は浸炭窒化処理し、所要の焼戻しをしたあとに、表面に機械加工を行う方法により、表層部に残留圧縮応力を形成したり、残留圧縮応力を高めたりすることができる。このための機械加工には、熱処理後に表面を切削する旋削加工、表面をロールにより僅かに圧下させる冷間ローリング加工や、表面に粒鉄などのショットにより衝撃を加えるショットブラストが利用される。これら表面機械加工は、表面下の表層部に加

工硬化によって圧縮応力を形成して残留させるが、さらに、熱処理後の残留オーステナイトが多い場合にはその一部の分解を促してマルテンサイト変態による圧縮応力も形成される。

【0015】冷間ローリング加工には、例えば、内輪の成形加工後に、転走面の所定部のみを相手ロールにより塑性変形が生じる程度の高い接触応力下でローリングする方法や、2個の内輪の間にころを組み込み所定荷重を掛けて回転させて転走面を塑性変形させる方法などが採用できる。

【0016】本発明の軸受は、表層部の残留オーステナイト量を充分確保できれば、式(1)ないし(2)を満たす範囲で、残留圧縮応力は低くすることができる。このような軸受の熱処理には、浸炭鋼や軸受鋼についての浸炭法や浸炭窒化法が採用できる。特に、軸受鋼の浸炭窒化法は、芯部に比して表層の浸炭窒化層で窒素富化によりオーステナイト量を安定的に高くでき、しかも200~300℃の高温焼戻しをおこなっても、表層部の高Nにより安定化した残留オーステナイト量は高く保持したままで芯部の残留オーステナイトを分解低減させ、これにより寸法安定性を確保し、且つ上記の残留圧縮応力が確保できる利点がある。

【0017】他方、本発明の軸受は、表層部に大きな圧縮応力を形成残留せれば、式(1)~(2)を満たす範囲で、残留オーステナイト量は少なくともよく、表層部の硬さが低くて軟質であってもよい。この場合は、表層部での残留圧縮応力の形成に、浸炭法、浸炭窒化法等の熱処理が利用でき、また焼入れ焼戻し後の表層部に機械加工、例えば、上記の冷間ローリング加工、ショットブラスト加工が適用できる。

【0018】軸受鋼のずぶ焼入れの場合は、一般に、表層部、芯部とも残留応力は殆ど形成されないものであるが、ずぶ焼入れて焼戻し(通常は150~200℃での低温焼戻し)をした後に転走面に冷間ローリング加工を行うことにより、転走面下表層部にはこの機械加工による大きな残留圧縮応力を形成することが容易にできる。特に、ずぶ焼入れ後に焼戻し温度200~300℃程度の高温焼戻しを行うと、残留オーステナイト量を分解低減させて寸法安定性を確保しながら同時に残留圧縮応力を冷間ローリング加工によって所望の応力値まで高めることが可能である。このような機械加工の利用は、長時間を要する浸炭・浸炭窒化処理などが不要となるので、熱処理時間の短縮に有効な方法となる。

【0019】冷間ローリング加工などの表面機械加工は、通常は、転動体が接触して接触応力が作用する転走面に行う。特に、軸受使用時に転動体による接触応力 P_{max} が2.0 GPaを超える転走面域に限って機械加工を行い、この転走面域で上記関係式(1)を満たす表層部とすると、限られた領域のみの加工で長寿命を与えることができる。

【0020】このようにして形成した内輪は、外輪及び転動体と組み込まれて本発明の軸受とされる。外輪及び転動体の材質、熱処理は、特に問わないが、上記の軸受鋼や浸炭鋼に上記の浸炭処理や浸炭窒化処理をして、組み合わせるとさらに効果的である。組み立てた軸受は、内輪の内周に回転軸又は固定軸が嵌め込まれて、嵌め合い応力の存在下で使用されても、内輪の転走面での割れ・剥離寿命を十分に延長することができるのである。

【0021】

【実施例】次に、軸受鋼（SUJ2鋼、SUJ3鋼）、10 浸炭鋼（SCr420鋼、SNCM420鋼）及び耐熱性浸炭鋼としてM50NiLを使用して成形したリングに、熱処理と機械加工を施して転がり試験用の試験材とし、試験材内周面に軸を嵌入して嵌め合い応力下で転がり寿命を測定する試験を行い、これらの諸量と割れ・剥離寿命との関係を調べた。

【0022】耐熱性浸炭鋼M50NiLの主な組成は、C0.11～0.15%、Si0.11～0.25%、Mn0.15～0.35%、Cr4.00～4.25%、Ni3.20～3.60%、Mo4.00～4.50%、V1.13～1.33%である。

【0023】試験材の寸法は、図1に示すように、外形20mm、内径14mm及び長さ20mmのリングである。熱処理は、軸受鋼については、ずぶ焼入れ焼戻し法、ベアナイト処理法及び浸炭窒化法を採用した。また、ずぶ焼入れ焼戻し後にローリング加工とショットブラストを行う機械加工方法も行った。軸受鋼（SUJ2鋼）の標準熱処理として、850℃×0.5hの加熱後油中急冷し、180℃×2hの焼戻しを行う熱処理を標準熱処理とし（表1中試験材No1）、このずぶ焼入れ法に対して焼戻し温度を260℃×2hに高めて高温焼戻しを行った（表1中試験材No6）。

【0024】さらに、標準熱処理及び高温焼戻し後にローリング加工又はショットブラスト加工を行った（表1中試験材No7、8、12及び13）。ローリング加工は、上記の焼戻しした外径20mm、内径14mm及び長さ20mmのリングの内径部に嵌め合い代0mmの軸を圧入し、その外周面に、外径12mm、長さ12mmのローラー（クローンR480mm）を相手試片にして40 Pmax4200MPaの面圧で10minのローリン

グ加工をし、その後加工表面下0.1mmを除去した。

【0025】ショットブラストは、粒径0.1～0.4mmのガラスビーズをショット圧0.4～0.5MPaの気圧で、上記リング外周面を回転させながら2～3minのショットピーニングした。

【0026】軸受鋼（SUJ2鋼）のベアナイト処理（試験材No5）は、850℃×0.5hの加熱後に230℃のソルト浴に0.5h保持し、空冷した。

【0027】軸受鋼（SUJ2鋼、SUJ3鋼）の浸炭窒化処理（試験材No9、10）は、850℃×1h加熱中にアンモニアを雰囲気ガス流量の5～10%添加し、その後油中急冷し、180℃2hの焼戻しをした。浸炭鋼（SCr420、SNCM420）については、浸炭処理（試験材No2、3）と浸炭窒化処理（試験材No11）を行った。浸炭処理条件は、カーボンポテンシャル1.0～1.2%の雰囲気中950℃×6～7h保持し、油中急冷であった。浸炭窒化処理は、この浸炭処理後に、850℃×1h加熱中にアンモニアを雰囲気ガス流量の5～10%添加し、その後油中急冷し、180℃2hの焼戻しをした。

【0028】また、耐熱性浸炭鋼M50NiLは960℃×6hの浸炭後に油中急冷し、次いで550℃×2hの高温焼戻しを2回行い、焼戻し二次硬化を利用したものである。

【0029】上記の熱処理及び機械加工を行ったリング状試験材は、図1に示す形状に研削仕上げを行い、その一部は、リング状試験材の外周面直下0.1mmの部位での残留オーステナイト量と残留圧縮応力の測定に供した。また、この深さでの表面硬さの測定と、さらに50℃に再加熱して高温焼戻ししたあとの表面硬さも測定した。

【0030】残留オーステナイト量の測定は、X線回折によりマルテンサイトの（211）面とオーステナイトの（220）面の2つの回折強度を比較する方法で行った。残留応力の測定は、X線回折によりマルテンサイトの（211）面の格子面間隔の変位を測定する方法で行った。リング状試験材の鋼種、熱処理と機械加工の条件、表面硬さ、残留オーステナイト量及び残留応力の測定値を、表1にまとめた。

【0031】

【表1】

No	鋼種	熱処理と機械加工の条件	表面硬さHv	500℃焼戻し 表面硬さHv	残留応力 σ (MPa)	オーステナイト 量(%)	備 考
1	SUJ2	850℃焼入 180℃焼戻し	760	480	± 0	10	ずぶ焼入れの標準処理
2	SCr420	950℃浸炭 180℃焼戻し	750	475	-200	21	浸炭鋼の標準処理
3	SKCN420	950℃浸炭 180℃焼戻し	730	465	-205	23	浸炭鋼の標準処理
4	M50NiL	960℃浸炭 550℃焼戻し	740	740	-250	2	高温焼戻しの焼戻し二次硬化
5	SUJ2	850℃加熱 230℃恒温保持	705	460	-50	3	グレート 処理
6	SUJ2	850℃焼入260℃焼戻し	650	480	+30	4	ずぶ焼入れ後の高温焼戻し
7	SUJ2	850℃焼入260℃焼戻し ローリング加工	690	490	-500	4	高温焼戻し後の機械加工 大きな圧縮応力層まで形成
8	SUJ2	850℃焼入260℃焼戻し ショットブラスト加工	660	490	-200	4	高温焼戻し後の機械加工 大きな圧縮応力残存に形成
9	SUJ2	850℃浸炭窒化 180℃焼戻し	780	580	-90	25	表面の耐熱性付与
10	SUJ3	850℃浸炭窒化 180℃焼戻し	775	600	-100	29	同上 高H ₂ 酸受層
11	SCr420	950℃浸炭 850℃浸炭窒化 180℃焼戻し	760	580	-175	30	同上 浸炭鋼
12	SUJ2	850℃焼入 180℃焼戻し ローリング加工	800	480	-320	9	標準処理後の機械加工
13	SUJ2	850℃焼入 230℃焼戻し ローリング加工	780	480	-340	7	高温焼戻し後の機械加工

【0032】これらリング状試験材を使用して、軸嵌め合い条件下での転がり疲労寿命試験を行った。図1に示すように、リング状試験材1の内径Dを変えて、外径一定の軸2を試験材内周11に圧入して、リング状試験材の嵌め合い応力をリング外径表面で315MPa、425MPa及び550MPaの3水準に調整し、疲労寿命試験に供した。

【0033】疲労寿命試験の条件は、相手試片に外径1

2mm×長さ12mm(R480mm)のころを使用し、接触応力Pmaxを3.0GPaで負荷し、負荷速度6120回/minで、潤滑にタービン油VG68を使用した。試験数は6個である。6個の試料についての疲労寿命試験による割れ寿命ないし剥離寿命のデータから、10%寿命を求めた。その結果を表2にまとめた。

【0034】

【表2】

No	鋼種	熱処理と機械加工の条件	10%寿命 (×10 ⁴ 回)		
			嵌め合い応力 315 MPa	嵌め合い応力 425 MPa	嵌め合い応力 550 MPa
1	SIJ2	850℃焼入 180℃焼戻し	2430	2046	477
2	SCr420	950℃焼戻 180℃焼戻し	9400	2030	890
3	SNCR420	950℃焼戻 180℃焼戻し	12700	4380	—
4	M50NiL	960℃焼戻 550℃焼戻し	2390	1300	309
5	SIJ2	850℃加熱 230℃恒温保持	8840	3310	975
6	SIJ2	850℃焼入 260℃焼戻し	1950	720	—
7	SIJ2	850℃焼入 260℃焼戻し ローリング加工	8210	3450	1010
8	SIJ2	850℃焼入 260℃焼戻し ショットブラスト加工	2380	830	—
9	SIJ2	850℃浸炭窒化 180℃焼戻し	>13000	6800	2310
10	SIJ3	850℃浸炭窒化 180℃焼戻し	>13000	>12400	3280
11	SCr420	950℃焼戻 850℃浸炭窒化 180℃焼戻し	>13000	6240	3010
12	SIJ2	850℃焼入 180℃焼戻し ローリング加工	6850	3050	1215
13	SIJ2	850℃焼入 230℃焼戻し ローリング加工	8020	3270	1110

【0035】表1及び表2から判るように、浸炭鋼（試験材No2、3）や軸受鋼のベーナイト処理（試験材No5）よりも、浸炭窒化処理した試験材（試験材No9～11）が長寿命に効果がある。軸受鋼のすべ焼入れ後高温焼戻しを行うと軸受の標準熱処理よりも割れやすくなるが、この高温焼戻し後にローリング加工（試験材No7、13）を行うと、ベーナイト処理（試験材No5）程度の寿命が確保できる。また、浸炭鋼であっても、焼戻し二次硬化のための高温焼戻しする鋼種（試験材No4）は、割れ強度が低く、これから、残留オーステナイトの存在が割れ強度向上に必要であることが判る。

【0036】ショットブラスト加工（試験材No8）は、寿命延長に有効である（試験材6、1と対比）が、この例では、ローリング加工（試験材No7）の場合ほどの顕著な効果は示さなかった。これは、ショットブラストの打撃力が小さく、表層部における大きな残留圧縮応力の形成範囲が狭い為である。

【0037】図2は10%寿命と残留応力との関係を示すが、一般的に嵌め合い応力大きいほど短寿命となっているが、嵌め合い応力各水準でみると、圧縮残留応力（-σ）と10%寿命との間にはほぼ正の相関がある。耐熱性浸炭鋼（試験材No4）はこれより短寿命側にならず、浸炭処理、浸炭窒化処理及びベーナイト処理の試験材（試験材No2、3、5、9～11）は、長寿命側に外れている。この図から、残留応力σ(MPa)の10%寿命(回)に対する相関係数としておよそ-0.01が得られる。

【0038】他方、図3は10%寿命と残留オーステナイト量との関係を示すが、同様に嵌め合い応力各水準でみると、残留オーステナイト量γと10%寿命との間には明瞭な相関関係があり、この場合は、ローリング加工及びベーナイト処理（試験材No5、7、12、13）は、長寿命側に外れている。この図から、残留オーステナイト量γ(%)の10%寿命Nに対する相関係数としておよそ0.3の値が得られる。

【0039】図4は、残留応力σの効果と残留オーステナイト量γの効果にそれぞれ上記の係数を与えて、両者の積0.01σ×0.3γと10%寿命との関係を示したものであるが、ベーナイト処理（試験材No5）を除いて、各試験材は上記3水準の嵌め合い応力で区分して、各水準とも、0.01σ×0.3γが、-4MPaより小さいときに長寿命を示すことが判る。このようにして、割れ・剥離寿命に対する残留応力σと残留オーステナイト量γの上記の関係式(1)が与えられる。軸受鋼のベーナイト処理の場合は、表層部の素地がマルテンサイト組織ではないために、この関係から外れるものと考えられる。

【0040】次に、上記のように高温焼戻し後にローリング加工をした試験材とローリング加工を省いた試験材とについて、上記の転がり疲労寿命試験を、接触応力Pmax1.8GPa、2.0GPa、2.3GPa、2.6GPa、3.0GPa、及び3.2GPaの6水準で負荷を変更して、行った。他の寿命試験の条件は同じである。その結果を図5に示す。

【0041】図5から、接触応力がPmax2.0GPa

aを越え、ローリング加工による10%寿命の向上の効果が明瞭に認められるが、 $P_{max} 2.0 \text{ GPa}$ では、ローリング加工の有無による寿命延長効果の差異は小さく、 $P_{max} 1.8 \text{ GPa}$ ではローリング加工の有無によらず、最も大きい嵌め合い応力の条件でも所定時間内に損傷は生じなかった。この結果から、接触応力が $P_{max} 2.0 \text{ GPa}$ を越える使用条件では割れ・剥離に対してローリング加工は有効であり、実際の転がり軸受の内輪においても、使用時に接触応力 $P_{max} 2.0 \text{ GPa}$ の面圧を越える転走領域にのみローリング加工を行えば、寿命の向上に特に有効となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】転がり疲労寿命試験に使用したリング状試験材の断面と、この試験材の内周面に圧入して嵌め合い応力を与えるための軸の外形を示す図。

【図2】転がり疲労寿命試験による10%寿命と試験材*

*の表層部での残留応力 σ との関係を示す図（図中の数字は試験材Noを示す）。

【図3】転がり疲労寿命試験による10%寿命と試験材の表層部での残留オーステナイト量 γ との関係を示す図（図中の数字は試験材Noを示す）。

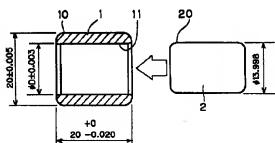
【図4】転がり疲労寿命試験による10%寿命と、表層部での残留応力 σ と残留オーステナイト量 γ との積 $0.01\sigma \times 0.3\gamma$ との関係を示す図（図中の数字は試験材Noを示す）。

【図5】転がり疲労寿命試験における試験材への接触応力を変えた場合の、ローリング加工の10%寿命に及ぼす影響を示す図。

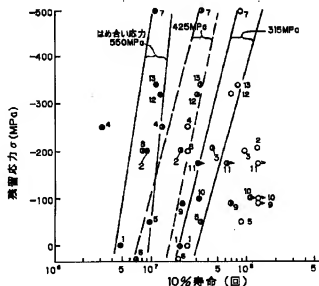
【符号の説明】

- 1 試験材
- 2 圧入用軸

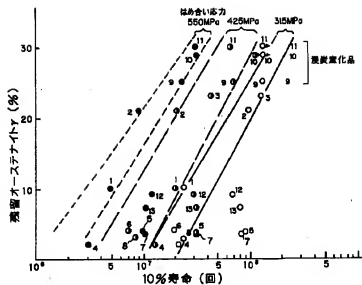
【図1】



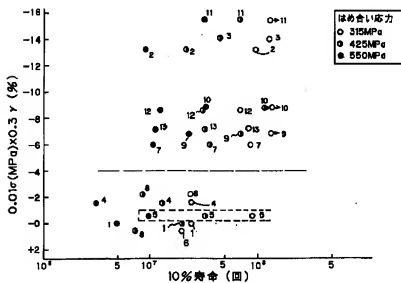
【図2】



【図3】



【図4】



【図5】

